

ピコ秒ライダーによる植物生葉クロロフィル蛍光寿命の遠隔計測

Remote sensing of chlorophyll fluorescence lifetime of tree leaves

原 光章、斉藤保典、原田佳苗、川原琢也、小林史利、野村彰夫

Mitsuaki Hara, Yasunori Saito, Kanae Harada, Takuya D Kawahara,
Fumitoshi Kobayashi, and Akio Nomura

信州大学工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

Abstract:

Chlorophyll fluorescence lifetime was remotely monitored by a pico-second lidar. In general, the lifetime of a plant leaf was large (1.3-1.6ns) in the early morning and at night, and it had a minimum value (831ps) at noon. Correlations of the lifetime to the atmospheric temperature and to the sun intensity were negative, and to the humidity was positive. These results suggest that plant activity is under higher the atmospheric temperature (32) and higher sun luminous intensity (19EV) and the lower humidity (40%).

1.はじめに

我々は植物の光合成活性度等を評価するための方法として、ピコ秒領域の植物蛍光寿命を用いることを提案してきた。¹⁾ 今回の報告では、ピコ秒蛍光ライダー観測より得られたプラタナスの葉の蛍光寿命測定結果をもとに、一日における植物活性度の変化について、各種気象要素との関係にふれながら検討する。

2.システム

システム構成は、ほぼ前回報告¹⁾のものと同じであるが、さらに広帯域な周波数特性を有するデジタルオシロスコープ(周波数帯域 8GHz, サンプリング速度 20GS/s)を導入することで、高速な蛍光現象をより正確に捉えることができるようになった。系全体の立ち上がり時間は約 190ps と見積もられた。これは我々が以前に行った実験²⁾と比較して蛍光寿命変化の測定には十分な値と考えられる。

3.蛍光寿命導出方法

観測波形は、蛍光寿命の情報を含むものの、検出器などの計測系の応答時間が含まれるため、そこから直接蛍光寿命を求めることはできない。本研究では光源の波形も含め、計測系の応答関数を考慮した次式により蛍光減衰曲線を求め、蛍光寿命を得た。

$$I(t) = \int_0^{\infty} \left(e^{-\frac{t'}{\tau}} - e^{-\frac{t'}{\tau'}} \right) e^{-\alpha(t-t')^2} dt'$$
$$= -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \left\{ e^{\frac{\pi(\tau-4\alpha)}{4\alpha}} \left(-1 + \operatorname{Erf} \left[\frac{\tau_r - 2\alpha t}{2\sqrt{\alpha}} \right] \right) - e^{-\frac{\pi(\tau-4\alpha)}{4\alpha}} \left(-1 + \operatorname{Erf} \left[\frac{\tau - 2\alpha t}{2\sqrt{\alpha}} \right] \right) \right\}$$

$I(t)$: 観測された蛍光波形

τ : 蛍光の立ち上がり時間

Erf : 誤差関数

$e^{-\alpha(t-t')^2}$: 蛍光減衰曲線

τ' : 蛍光の立ち下がり時間

α : 散乱光の半値全幅

$$\alpha = \frac{1}{2\sigma^2}$$

4.日中蛍光波形取得実験

システムから 20m 離れたプラタナスの葉から得られた散乱光 (532nm) 及び蛍光 (670nm~750nm) から求めた、一日の蛍光寿命計測例 (2005年8月3日) を Fig.1 に示す。実験は日の出前である 4時15分から日の入り頃の 19時まで行ったもので、5時以降は1時間おきにデータを取得し、同時に気温、湿度、照度を計測した。

蛍光寿命は明け方 (1.3ns) から徐々に短くなり、12時に最小値 (831ps) を示した。その後、15時までは一定値 (約 900ps) を示し、16時から夕方、夜に向かい大きな値 (~1.5ns) を示した。

Fig.2 に蛍光寿命と湿度との相関を、Fig.3 に蛍光寿命と温度と照度との相関を示す (16時以降のデータは強風により、エラーバーが大きいため省いてある)。その結果温度との相関係数が-0.67、湿度との相関係数が 0.68、照度との相関係数が-0.64 の結果を得た。植物の活性度は蛍光寿命と逆相関を示すことが報告³⁾されているが、本観測における気象条件下では、高照度 (19EV)、高温 (32℃)、低湿度 (40%) ほど植物の活性度が高いと考えられる。

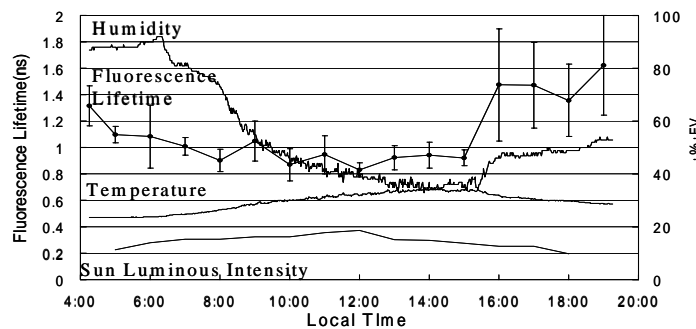


Fig.1 Time variation of a plant tree leaf's fluorescence lifetime and meteorological parameters during a day

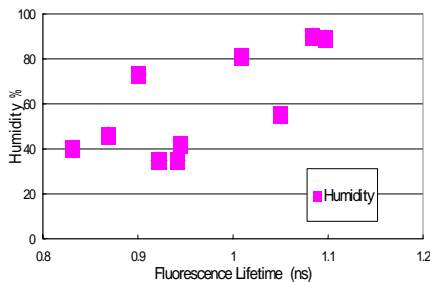


Fig.2 Correlation diagram of the fluorescence lifetime to the humidity

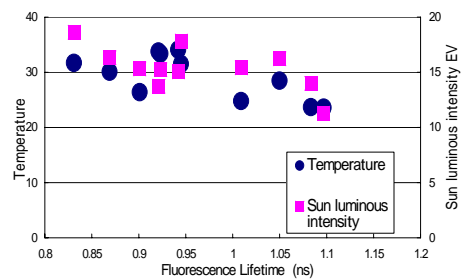


Fig.3 Correlation diagram of fluorescence lifetime to the temperature and the sun luminous intensity

5.おわりに

自然に生育したままの植物からの蛍光減衰波形を遠隔的かつ非破壊に計測した。その結果、植物生理機能や成長等に関する情報を抽出できる可能性を得た。

参考文献

- 1) 斉藤,今井 他 第 22 回レーザセンシングシンポジウム, 0-6-13, 2003
- 2) 竹内,斉藤 他 レーザー研究, Vol.30, (2002), 666.
- 3) I.Moya et al., EARSeL Advance in Remote Sensing, 3, (1995), 188.